

Marika Johansson

OPTISEN MITTALAITTEEN HYÖDYNTÄMINEN  
LAADUNVALVONNASSA

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
2015

# OPTISEN MITTALAITTEEN HYÖDYNTÄMINEN LAADUNVALVONNASSA

Johansson, Marika  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Toukokuu 2015  
Ohjaaja: Leino, Mirka  
Sivumäärä: 36  
Liitteitä: 8

Asiasanat: 3D-skannaus, laadunvalvonta, optinen mittaus

---

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin Bronto Skylit Oy Ab:n erään uusimman laitetyyppin varsijaksojen muodonmuutoksia 3D-skannauksen avulla.

Varsijaksoja lähdettiin tutkimaan, koska kokoonpanovaiheessa oli huomattu jaksoissa olevan toisinaan poikkeamia vaadittuun laatuun nähden. Nämä poikkeamat haittasivat usein laitteen kasausta. Poikkeamiin pyrittiin löytämään syy, jotta voitiin etsiä ratkaisuja niistä eroon pääsemiseksi.

Työssä mittaukset suoritettiin saksalaisen GOMin valmistamilla mittalaitteilla ja saatuja mittatuloksia verrattiin jo olemassa oleviin CAD-malleihin. Työssä käytiin myös läpi vaihe vaiheelta, miten itse mittausprosessi eteni ja mitä siinä tuli huomioida, jotta mittaukset onnistuivat mahdollisimman hyvin.

Työn tuloksena varsijaksoista saatiin useita mittatarkkoja 3D-malleja, joita CAD-malleihin vertaamalla tutkittiin poikkeamia. Jaksoista löytyi useita pieniä poikkeamia, joiden aiheuttajat pyrittiin kartoittamaan ja joiden toistuvuutta pyrittiin estämään. Työssä havaitut poikkeamat eivät olleet suuria laitteen toimivuuden kannalta. Tulevaisuudessa mittauksia tullaan jatkamaan ja poikkeamien esiintyvyyttä pyritään edelleen estämään entistä tehokkaammin.

# UTILIZATION OF THE OPTICAL MEASURING DEVICE IN THE QUALITY CONTROL

Johansson, Marika

Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in mechanical and production engineering

May 2015

Supervisor: Leino, Mirka

Number of pages: 36

Appendices: 8

Keywords: 3D-scanning, quality control, optical measurement technique

---

The purpose of this Bachelor's thesis was to study one of the Bronto Skylift Ltd's newest types of boom crane equipment and its deformation based on 3D scanning.

The study was needed because some deviations were recognized occasionally compared to the quality standard. These deviations often made the assembling of the equipment more difficult. The aim of this thesis was to find reasons for the deviations in order to find solutions to avoid these variations.

The measurements were performed with GOM's German made measuring systems. The results were compared to existing CAD-models. This thesis reviews also phase by phase how the real measurement process proceeded and what should be taken into consideration in order to succeed in the measurements as nicely as possible.

As a result of this thesis several accurate 3D computer models were created and they were compared to the CAD-models in order to find any deviations. Many small deviations were found in boom during this comparison. Possible causes for these were mapped and the recurrence of defective quality was attempted to prevent. The observed deviations did not affect the functionality of the hoisting systems.

It is recommended that in the future the measurements should be continued and the deviations in quality should be prevented more effectively.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	YRITYSESITTELYT .....	6
2.1	Bronto Skylift Oy Ab .....	6
2.2	GOM mbH .....	8
3	OPTISET MITTALAITTEET .....	10
3.1	Historiaa .....	10
3.2	Skannereiden peruspiirteet ja toiminta .....	10
3.3	Passiiviset menetelmät.....	11
3.3.1	Fotogrammetria.....	11
3.3.2	Stereokuvaus.....	11
3.4	Aktiiviset menetelmät .....	12
3.4.1	Fringe .....	12
3.4.2	Kolmiomittaus .....	13
4	BRONTO SKYLIFTIN KÄYTÖSSÄ OLEVAT MITTAUSJÄRJESTELMÄT ....	16
4.1	Tritop .....	16
4.2	Tritop Atokselle.....	17
4.3	Atos Compact Scan 5M.....	17
4.4	Atos Professional .....	19
5	KÄYTÄNNÖN ESIMERKKI .....	21
5.1	Mittapohjan luominen .....	21
5.2	Mittauksen esivalmistelut .....	23
5.2.1	Esimerkki huonosta kuvaustilasta .....	23
5.2.2	Esimerkki hyvästä kuvaustilasta .....	24
5.3	Tritop-kuvaus.....	25
5.4	Skannaus Atos Compac Scanilla .....	26
5.5	Mittaustulokset Atos Professionalilla .....	27
6	MITTAUSTULOKSET .....	30
6.1	Varsijakso 5.0.....	31
6.2	Varsijakso 6.0.....	32
6.3	Johtopäätöksiä .....	34
7	YHTEENVETO .....	35
	LÄHTEET .....	36
	LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Tutkimuksen aiheena tässä opinnäytetyössä on maailman johtavan nostolaittevalmistajan Bronto Skylit Oy Ab:n yhden uusimman laitetyypin varsijaksojen muodonmuutokset.

Kilpailu ja kehitys ovat kehittyneet myös nostolaitteiden valmistuksessa. Nostokorkeutta vaaditaan aina enemmän ja laitteista vaaditaan yhä kevyempiä. Tämä haastaa suunnittelua uusiin ratkaisuihin materiaalien kanssa. Putkista tulee yhä ohuempia ja mm. tuentoihin haetaan erilaisia ratkaisuja. Haastetta on saada ohut materiaali käyttäytymään halutusti 120 metrin korkeudessa kun tuulta voi olla useita metrejä sekunnissa eri suunnista ja olosuhteet erilaisia eri päivinä.

Ohuet materiaalit ja erilaiset hitsattavat tuennat tuovat ongelmia laadullisesti, koska hitsaus aiheuttaa lämmön vuoksi aina muodonmuutoksia ja ohuessa materiaalissa ne voivat olla melko huomattavia.

Opinnäytetyössä selvitetään miten optista mittalaitetta voidaan hyödyntää muodonmuutosten mittaamisessa, mitä tulee huomioida työtä valmistellessa jne. Ja taas lopputulemana antaa eväitä suunnittelulle keksiä miten päästä muodonmuutoksista eroon.

Opinnäytetyössä käytetään kahta eri mittalaitetta rinnakkain, tukemassa toinen toistaan. Laitteet ovat saksalaisia GOM mbH:n valmistamia. Mittaukset toistetaan samoille putkille kolmesti ja vertaillaan vielä entuudestaan mitatuille vastaavan laitetyypin mittauksille.

## 2 YRITYSESITTELYT

### 2.1 Bronto Skylift Oy Ab

Bronto Skylift on maailman johtava kuorma-autoalustaisten nostolavalaitteiden valmistaja. Laitteita käytetään pelastukseen ja palonsammutukseen sekä huolto-, urakointi- ja muuhun korkealla tapahtuvaan työhön. Yritys hoitaa itse suunnittelun, valmistuksen, myynnin sekä huollon. Bronto Skylift on toiminut yli 50 vuotta ja on sinä aikana ehtinyt toimittaa yli 6400 laitetta yli 120 maahan ympäri maailmaa. Vuodesta 1995 yritys on kuulunut amerikkalaiseen Federal Signal Corporationiin. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Tampereen Raholassa ja laitteiden puomistot valmistetaan Porissa. Tytäryhtiöitä löytyy Ruotsista, Saksasta, Sveitsistä ja Yhdysvalloista. (Bronto Skylift Oy [www-sivut](#) 2015.)

Vuodesta 1993 Bronto Skyliftillä on ollut ISO 9001 -standardin mukainen laatujärjestelmä, joka kattaa yrityksen kaikki toiminnot tuotesuunnittelusta jälkihuoltoon. Yrityksen laatu politiikan tavoitteena on tehdä asiat oikein heti ensimmäisellä kerralla. Laatu politiikan toteuttamista valvotaan säännöllisesti ulkoisin ja sisäisin tarkastuksin. ”Teemme työmme virheettömästi asiakkaillemme ja toisillemme”, on jokaisen työntekijän tiedostama lause. (Bronto Skylift Oy [www-sivut](#) 2015.)

Bronto kiinnittää jatkuvasti huomiota ympäristövaikutuksiin. Yrityksellä on tässäkin voimassa oleva standardi, ISO 14001. Tämä on tullut käyttöön vuonna 1999. Yrityksen tavoitteena on minimoida haitallisia ympäristövaikutuksia sekä ennakoida ja hallita mahdollisia ympäristöriskejä. Bronto Skylift päivittää ja kehittää jatkuvasti tuotantoprosesseja, jotka edesauttavat tässä tehtävässä. (Bronto Skylift Oy [www-sivut](#) 2015.)

Tuotevalikoimassa Bronto Skyliftillä on noin 50 mallia, joiden työskentelykorkeudet vaihtelevat 16 metristä aina 112 metriin. Laitteet räätälöidään aina asiakkaan mukaan ja niin sanottua massavalmistusta ei

ole. Vaikka perusrunko olisi sama, jokainen asiakas viimeistään varustelee laitteensa omanlaisekseen. Laitteet jaotellaan kahteen osaan niiden käyttötarkoituksen mukaan: teollisuuslaitteisiin (esimerkki kuvassa 1) ja palo- ja pelastuslaitteisiin (esimerkki kuvassa 2).

Teollisuuslaitteet ovat varustelultaan pelkistetympiä kuin palolaitteet. Joihinkin palolaitteisiin on mahdollista saada yli 2000 lisävarustetta, jolloin laitetta on mahdollista käyttää sammutusyksikkönä, puomitikkaana jne. Yksilöitävyys on tässäkin Bronton ehdoton vahvuus. Brontolla on myös sähkölinjatyöskentelyyn soveltuva eristetty teollisuuslaite. (Bronto Skylift Oy www-sivut 2015.)



Kuva 1. Bronto Skylift teollisuuslaite 70XDT, jonka nostokorkeus on 70 metriä. (Bronto Skylift Oy www-sivut 2015)



Kuva 2. Bronto Skylift palolaite 55RLX, jonka nostokorkeus on 55 metriä.  
(Bronto Skylift Oy [www-sivut](http://www-bronto-skylift.fi) 2015)

Bronto Skyliftin Porin tehtaalla valmistetaan varsistot ja auton päällä oleva kotelorunko. Materiaalit toimitetaan eri toimittajilta muotoonsa kantattuna ja levyosat valmiiksi leikattuna. Pienemmät osat tulevat osittain valmiiksi hitsattuina. Porin osalta tehtäväksi jää hitsaus, koneistus, maalaus ja varsiston kokoonpano. Vaiheita ja tekijöitä on siis paljon, pelkästään Porin tehtaan palveluksessa noin 150 henkilöä.

## 2.2 GOM mbH

Gesellschaft für Optische Messtechnik on vuonna 1990 Saksan Braunschweigin Teknisessä Yliopistossa alkunsa saanut yritys. Yritys sai alkunsa kahden ihmisen innostuksesta tutkia auton peltejä. Nykyään se on maailmanlaajuinen yksityisomistuksessa oleva yritys. Yritys myy ja valmistaa 3D-mittalaitteita sekä tekee materiaali- ja komponenttitestauksia. Yrityksen palveluksessa on maailmanlaajuisesti noin 700 työntekijää ja pääkonttori on edelleen Braunschwigissa. Yritys myy laitteitaan lähes jokaiselle autovalmistajalle. Ilmailuteollisuus on myös heidän suuri asiakkaansa. Lisäksi urheiluvaateteollisuudessa testataan paljon ko. laitteilla. Yrityksen



nettisivuilla mainitaankin yli 8000 asiakasta, mm. BMW, McLaren, Renault, Lego, Walt Disney. (GOM mbH www-sivut 2015.)

Kuvassa 3 näkyy Legon valmistama esimerkki GOMin tuotteista.



Kuva 3. Lego ATOS Compact Scan ja Triple Scan. (Lego www-sivut 2015)

### 3 OPTISET MITTALAITTEET

#### 3.1 Historiaa

Optiset mittausrakkeet, niiden käyttö ja kehitys ovat merkittävästi kasvaneet viimeisen neljänkymmenen vuoden aikana. Työkalut, jotka ennen olivat saatavilla vain rajoitetusti, ovat nykyään kaikkien teollisuudenalojen saatavilla. Tämä on edesauttanut merkittävästi kehitystä. Mittaukset ovat nopeutuneet ja tulleet selkeämmin ymmärrettäviksi.

Optiseen mittaamiseen sisältyvät seuraavat perusmekanismit:

1. valon kulkusuunnan havainnointi
2. heijastuneen tai läpäisseen valon intensiteetin muutoksen havainnointi
3. polarisaatiomuutosten havainnointi
4. heijastuneen valon jakautumisen havainnointi.

Ensimmäiset optiset mittaustekniikat kehitettiin 1960-luvulla. Kameran lisäksi käytettiin tavallisia valoja ja projektoreita eikä täydellistä 3D-mallia pystytty luomaan, koska skannaus pystyttiin tekemään vain yhdestä suunnasta. Valkoista valoa käyttävät skannerit kehitettiin myöhemmin ja vasta laserskannereiden myötä saatiin täydellisiä 3D-malleja. (Harding 2008.)

#### 3.2 Skannereiden peruspiirteet ja toiminta

3D-skannereita on useita eri tyyppisiä. Pääkomponentit näissä ovat yleisesti aina kamera ja säteilylähde eli valonlähde. Lähes poikkeuksetta tarvitaan myös jonkinlainen tietokone ja ohjelmisto, jolla käsitellään saatua dataa. Data saattaa olla pelkkiä koordinaattipisteitä, etäisyysmittoja tai pistepilviä mitattavasta kohteesta. Skannereita jaotellaan eri tyyppisiin: koskettaviin ja ei-koskettaviin sekä ei-koskettavat vielä passiivisiin ja aktiivisiin skannereihin. (3D Scan Company www-sivut 2015.)

### 3.3 Passiiviset menetelmät

Passiiviset optiset menetelmät käyttävät joko yhtä tai kahta digitaalista kameraa. Tämä tekniikka perustuu fotogrammetriaan. Fotogrammetria on menetelmä, jolla tutkitaan mitattavan kohteen muotoja siitä otettujen valokuvien perusteella.

#### 3.3.1 Fotogrammetria

Fotogrammetriaa hyödynnetään laajalti arkkitehtuurissa, rikospaikkatutkinnassa ja useimmat nykyaikaiset kartat on tehty tätä menetelmää käyttäen.

Valokuvauksessa 3D-kuva muutetaan 2D-kuvaksi. Fotogrammetriassa 2D-kuva muutetaan jälleen 3D-muotoon, mutta tässä tapauksessa siihen tarvitaan vähintään kaksi kuvaa, jotka on otettu eri kuvakulmista. Todellisuudessa kaksi kuvaa harvoin riittää, joten kuvia tarvitaan useampia. Kun 2D-kuvia käsitellään, kameran orientaatio jokaiselle kuvalle pitää olla mahdollisimman tarkasti tiedossa. Tarkka orientaatio saadaan, kun kuvasta pystytään tunnistamaan mahdollisimman paljon pisteitä. Valon varjostumisen perusteella määritetään kohteen pinnan syvyystiedot. Fotogrammetriasta on myös kahden kameran tekniikka, jota kutsutaan stereofotogrammetriaksi. (The Basics of Photogrammetry 2015.)

#### 3.3.2 Stereokuvaus

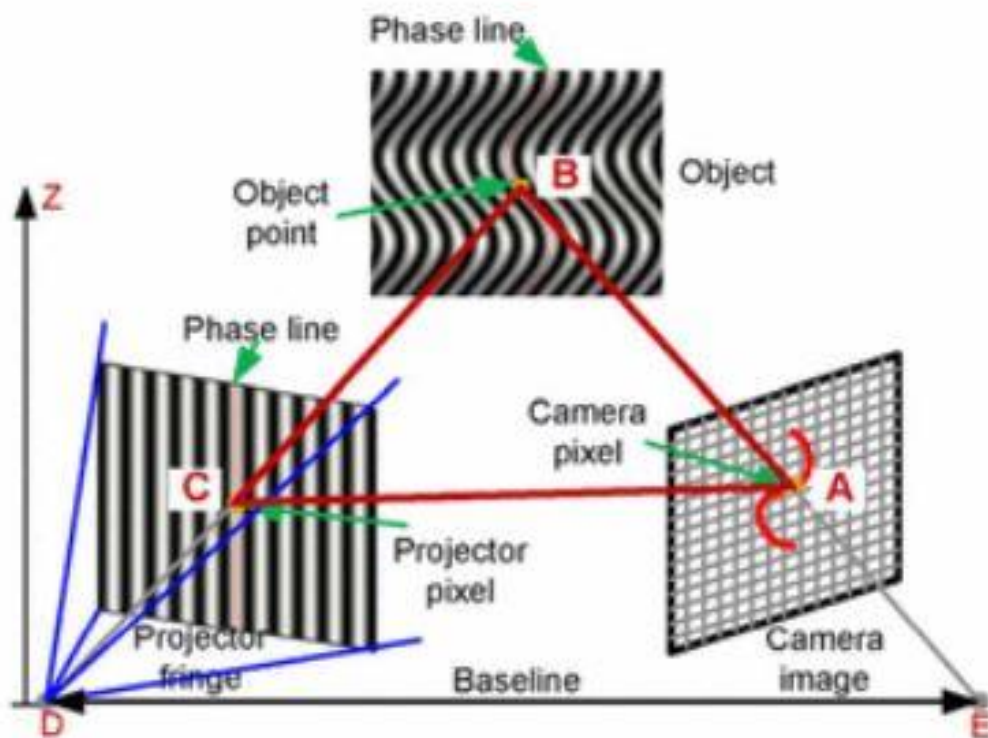
Stereokuvaus on kuin ihmisen silmät. Oikea ja vasen, katsovat samaa kohdetta hieman eri suunnista, jolloin kohteesta saa kolmiulotteisen vaikutelman. Stereokuvauksessa kamerat asetellaan juuri niin, että ne kuvaavat vähintään kahdesta eri suunnasta samanaikaisesti. Kuvat yhdistetään tietokoneohjelmalla. Kyseiseen tarkoitukseen tehty ohjelma etsii samoja pisteitä kokonaisuuksista, yhdistää niitä ja tästä analysoinnista saadaan 3D-kuva. (Leino 2014, 39.)

### 3.4 Aktiiviset menetelmät

Aktiivisiin menetelmiin luokitellaan skannerit, joiden toiminta perustuu mm. valon kulkuaikaan sekä laserkeilaukseen. Lisäksi aktiivisia skannereita ovat valkoista valoa hyödyntävät skannerit sekä kolmiomittaukseen perustuvat skannerit. Kaikki edellä mainitut koostuvat säteilylähteestä, kuten laserdiodi, projektori tai salamavallo ja yhdestä tai useasta kamerasta. Optinen kolmiomittaus on käytössä laserskannereissa ja keilaimissa. (Santaluoto 2012.)

#### 3.4.1 Fringe

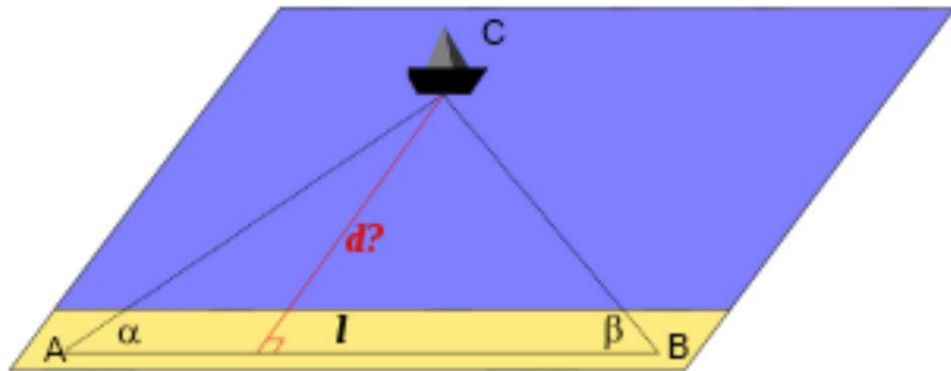
Fringe perustuu valoon ja valon kuvioihin. Erilaisista pysty- ja vaakasuorista viivoista koostuva valaisukuvio lähetetään projektorille, joka projisoi kohteen pinnalle. Kun pystysuorat viivat taittuvat muotojen mukaisesti, muuttavat kohteen pinnan muodot projektion muotoa. Kuva välittyy tietokoneelle. Analysointi perustuu kolmiomittaukseen. Tarkkuuteen vaikuttaa kameran ja optiikan lisäksi myös projektorin tuottama viivaprojektion tarkkuus. Kuvassa 4 tämä periaate on esitetty tarkemmin. (Leino 2014, 41.)



Kuva 4. Fringen toimintaperiaate. (Karpinsky, Zhang 2010)

### 3.4.2 Kolmiomittaus

Kolmiomittaus on 1600-luvulla Hollannissa kehitetty menetelmä, joka perustuu trigonometriaan. Tällä menetelmällä mitataan yleisesti etäisyyksiä sekä maanpinnan korkeuksia. Menetelmä on ollut hyvin tärkeä ennen satelliittijärjestelmien tuloa 1980-luvulla. Kolmiomittausta on hyvä käyttää koordinaattien laskemiseen. (Geocache Description 2015.)



Kuva 5. Esimerkki kolmiomittauksesta. (Wikipedia, vapaa tietosanakirja 2015)

Kuvassa 5 on esitelty kolmiomittauksen periaate. Tapauksessa lasketaan laivan etäisyys rannasta. Pisteessä A mitataan laivan ja pisteen B välinen kulma  $\alpha$ . Pisteessä B taas mitataan pisteen A ja laivan välinen kulma  $\beta$ . Kun pisteiden A ja B koordinaatit tai niiden välimatkat ovat tiedossa, sinilauseen perusteella on laskettavissa piste C sekä laivan etäisyys d.

Kolmas kulma saadaan kulmasumman perusteella:

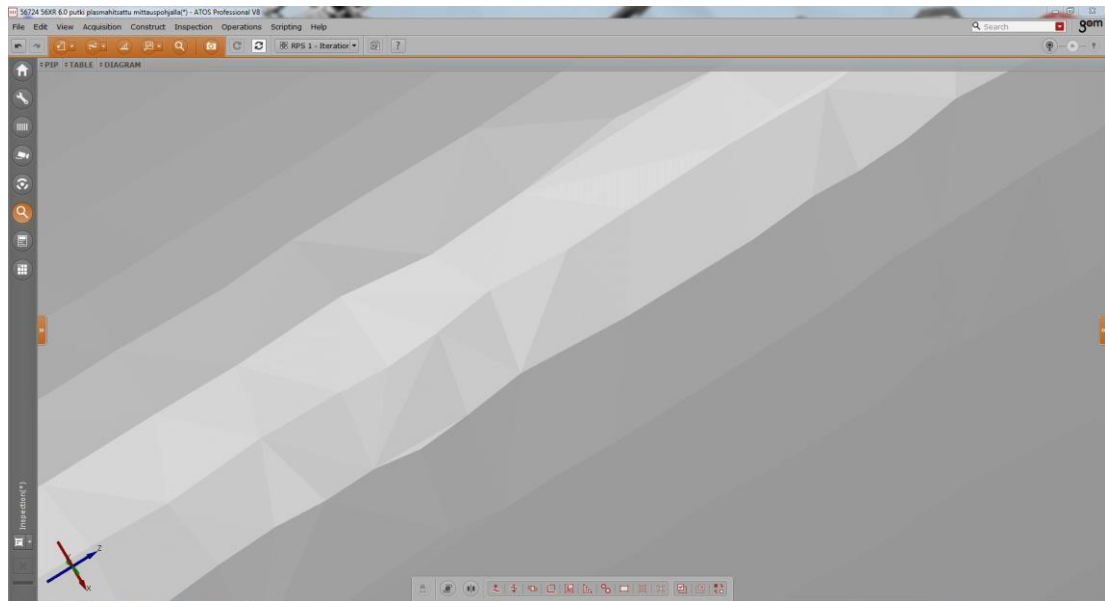
$$\gamma = 180^\circ - (\beta - \alpha)$$

Pisteen C etäisyys voidaan nyt laskea sinilauseen avulla:

$$AC = \frac{\sin \beta}{\sin \gamma} * AB \qquad BC = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} * AB$$

Etäisyys d saadaan näin ollen:

$$d = BC * \sin \beta$$



Kuva 6. Lähikuva Atos Compact Scanilla otetusta mittauksesta.

Kuvassa 6 on esimerkkinä otettu lähikuva Atos Compact Scanilla suoritetusta skannauksesta, jossa näkyy selvästi skannauksen koostuvan pienistä kolmioista. Näitä kolmioita ja kolmiomittauksen periaatteita hyväksi käyttäen lasketaan pinnan muodot.

## 4 BRONTO SKYLIFTIN KÄYTÖSSÄ OLEVAT MITTAUSJÄRJESTELMÄT

### 4.1 Tritop

Tritop-järjestelmä mittaa koordinaatteja kappaleista nopeasti ja vaivattomasti. Järjestelmän toiminta perustuu fotogrammetriaan. Kuvaus suoritetaan käytännössä normaalilla järjestelmäkameralla (kuva 7), joka siirtää kuvat automaattisesti tietokoneelle Atos Professional -järjestelmään. Järjestelmällä voidaan mitata isoja ja painaviakin kappaleita. Järjestelmän kokonaispaino on 23 kiloa. Järjestelmä on riippumaton sääolosuhteista. Periaatteessa huoltovapaaseen Tritop-järjestelmään kuuluu kameran lisäksi kaksi kalibroitua mittasauvaa. Mittasauvat antavat kameralle referenssimittan sekä referenssipisteitä. Kuvia pyritään ottamaan niin että uudessa kuvassa näkyisi aina vähintään viisi koodattua pistettä, jotka ovat jo aikaisemmissa kuvissa näkyvissä ja tunnistettuina. Näin tietokone pystyy asettamaan kaikki kohteesta otetut kuvat samaan koordinaatistoon merkattujen pisteiden avulla. Järjestelmän mahdollisia käyttökohteita: auton korit, lentokoneiden turbiinit, jigrit jne. Tritopin tuloksia voidaan käyttää hyödyksi mm. CAD-vertailuissa, mittojen- ja muototoleranssien todentamisessa. (GOM mbH www-sivut 2015.)





Kuva 7. Osa Tritop-järjestelmää.

#### 4.2 Tritop Atokselle

Tritop-järjestelmää käytetään myös referenssipisteiden etukäteen tallentamiseen Atos-skannausvaihetta silmällä pitäen. Pisteiden ollessa valmiiksi kuvattuina, skannaustapahtuma on huomattavasti nopeampi ja mittausvirheiden mahdollisuus pienenee. Skannaus voidaan suorittaa ilman tritop-vaihetta, mutta putkien mittaamisessa se ei ole järkevää.

#### 4.3 Atos Compact Scan 5M

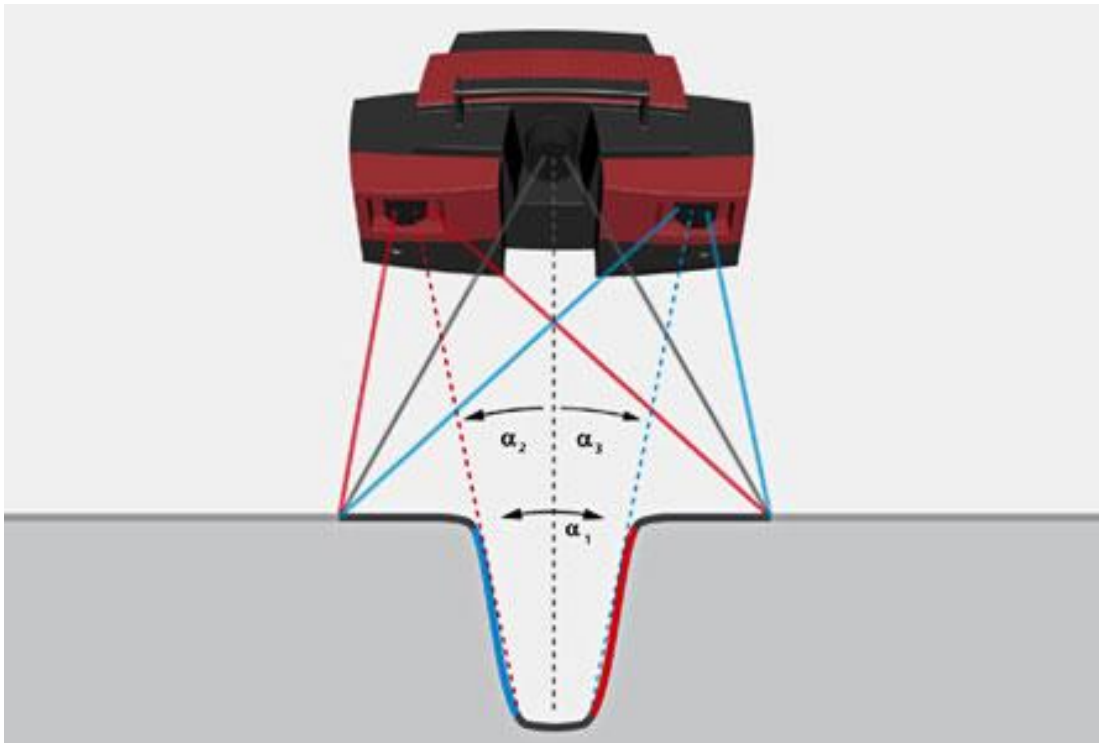
Atos Compact Scan (kuva 8) on kevyt mukana kuljetettava täydellinen mittausjärjestelmä. Toiminta perustuu fringe-projektion projisoimiseen kahdella kameralla ja valonlähteellä, joka tässä järjestelmässä on sininen. GOM-järjestelmissä stereokuvaus perustuu GOM Triple Scan –teknologiaan, joka on yrityksen oma patentti. Kappale kuvataan kolmesta suunnasta jolloin saadaan tarkempi kuvausdata kiiltävistäkin pinnoista (kuva 9). Blue light -teknologia skannaa valoa olosuhteista riippumatta, valo on säädettävissä

koko skannauksen ajan ohjelman avulla. Optisiin muunnosyhtälöihin, eli kolmiomittaukseen perustuen, tietokone laskee automaattisesti 3D-koordinaatit jokaiselle kameran pikselille korkealla tarkkuudella. Järjestelmä rekisteröi yksityiskohtia jopa hyvin pienistä kappaleista erinomaisella pistetiheydellä. Se yhdistää muotojen skannaamisen ja pisteiden rekisteröimisen. Järjestelmä soveltuu sekä isoille että pienille kappaleille. Skannatusta kappaleesta saadaan täydellinen analyysi halutuista muotovirheistä ja poikkeamista. Järjestelmä soveltuu myös ahtaisiin mittaolosuhteisiin. Kaikki lisäosat kulkeutuvat yhdessä salkussa.

Käytännössä mittaustapahtuman aluksi mitattavaan kappaleeseen kiinnitetään tarralappuja, jotka toimivat referenssipisteinä. Atos Professional yhdistää otetut kuvat yhdeksi kokonaisuudeksi samaan koordinaatistoon referenssipisteiden avulla. (GOM mbH www-sivut 2015.)



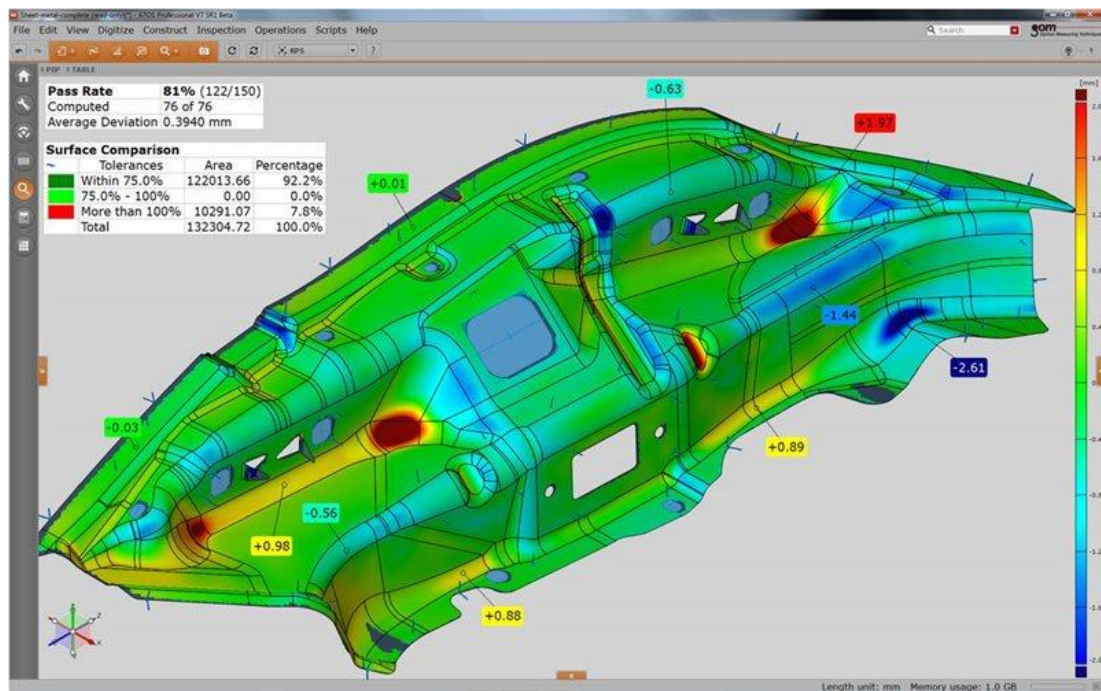
Kuva 8. Atos Compac Scan 5M. (GOM mgH www-sivut 2015)



Kuva 9. Triple Scan -periaate. (GOM mbH www-sivut 2015)

#### 4.4 Atos Professional

Atos Professionalilla on mahdollista tutkia pisteitä ja pintoja. Ohjelmassa on myös valmiita toimintoja mm. turbiinisiipien todentamiseen 2D-leikkausten avulla. Prosessi on täydellisesti jäljennettävissä. Mittojen ja elementtien luomisprosessi ja parametrit voidaan jäljentää alkuperän tarkistamiseksi. GOM Inspect Professional prosessoi pistepilven automaattisesti 3D-meshiksi. Meshejä voidaan verrata suoraan CAD-malliin, luoda värikkäitä pintavertailuja, mittoja ja 2D-leikkauksia. GOM Inspect on saatavana myös ilmaisohjelmana, joka on hieman yksinkertaisempi ohjelma. (GOM mbH www-sivut 2015.)



Kuva 10. Esimerkki Atos Professional -mittauksesta. (GOM mbH [www-sivut](http://www.gom.com) 2015)

Kuvassa 10 on esimerkkinä suoritettu vertailu CAD-malliin. Pelkästään jo värien perusteella nähdään suurimmat poikkeamat jotka sijaitsevat sinisellä ja punaisella alueella. Kohdistus tietysti tehdään aina tapauskohtaisesti eli pelkkään värimalliin ei voi tuijottaa ellei tiedä minkä perusteella mittoja halutaan ottaa. Esimerkissä voisi olettaa että kappale on kohdistettu keskeltä, koska poikkeamat syntyvät reunoille. Taulukossa näkyy toleranssissa olevia alueita, toleranssin ylittäviä alueita jne. Atos Professionalilla on monenlaisia käyttömahdollisuuksia kuten kuvassa näkyvä CAD-vertilu. Skannatusta mallista voidaan myös luoda CAD-malli jne. (GOM mbH [www-sivut](http://www.gom.com) 2015.)

## 5 KÄYTÄNNÖN ESIMERKKI

Käytännön esimerkkinä tässä opinnäytetyössä on yhden varsiston mittaaminen ja siitä tarkemmin kaksi putkea, jotka myöhemmissä työvaiheissa nimetään jaksoiksi. Mittaaminen on monivaiheista alkaen mittapohjien luomisesta ja jatkuu aina mittatulosten käsittelyyn. Mittaus suoritetaan kolmesti: heftauksen, plasmahitsauksen ja kalustuksen jälkeen. Mittaustuloksia verrataan toisiinsa ja vielä aikaisemman vastaavan laitteen mittaustuloksiin.

Mittausten tarkoitus on saada selkeä kuva siitä millaisia ja missä kohtaa muodonmuutoksia putkissa tapahtuu. Jokainen työvaihe ja putken käsittely vaikuttaa muotoihin. Perättäisillä mittauksilla pyritään näkemään tuoko jonkun tietyn työvaiheen menetelmä positiivista vai negatiivista muutosta. Lisäksi ensimmäisen mittauksen jälkeen pääsemme vaikuttamaan seuraavaan työvaiheeseen, jos muodonmuutokset sitä vaativat.

Mittausprosessi koostuu seuraavista osioista:

- mittapohjan luominen
- mittauksen esivalmistelut
- tritop-kuvaus
- skannaus Atos Compact Scanilla
- mittaustulokset Atos Professionalilla
- mittaustulosten vertailu.

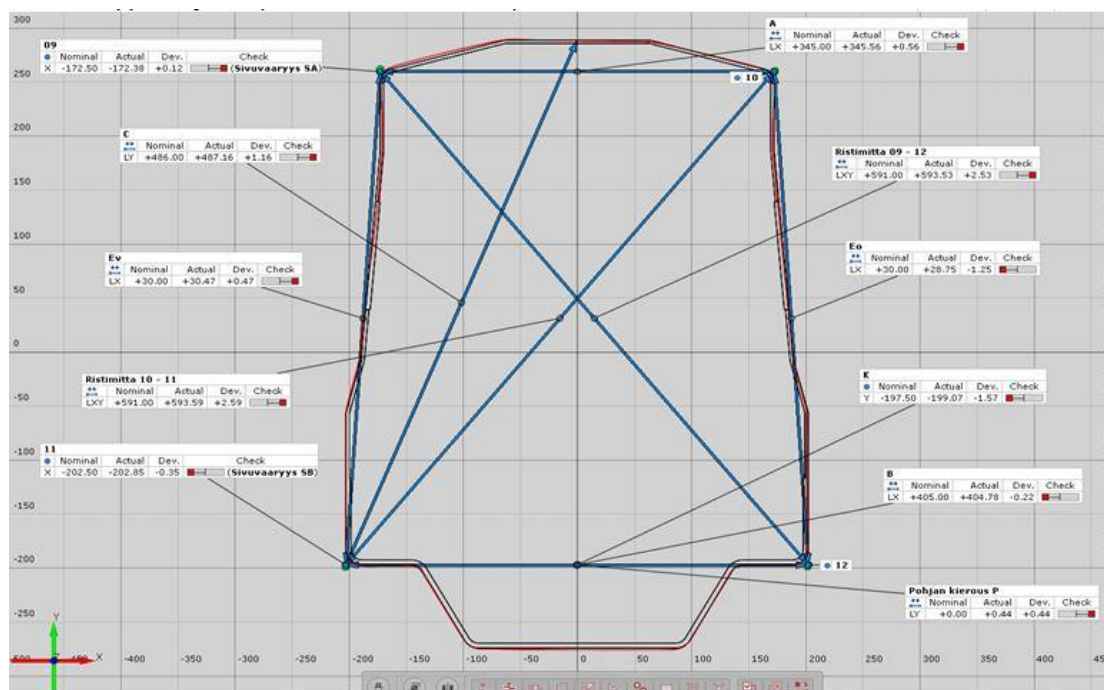
### 5.1 Mittapohjan luominen

Mittapohjan luominen aloitetaan tuomalla Atos Professionaliin mitattavan kappaleen CAD-malli. Kappaleesta puhdistetaan mahdolliset ylimääräiset osat, joita ei tarvita mittauksissa. Puhdistuksen jälkeen CAD-malli kohdistetaan koordinaatistoon halutulle paikalle. Paikka määrätään sen mukaan miten katsotaan järkeväksi. Esimerkkitapauksessa putki

kohdennetaan tyvipää nollapisteeseen, alaliukupintojen korkeudelta. Kun kappale on saatu aseteltua malliin, luodaan kolme eri poikkileikkausta. Kaksi poikkileikkausta luodaan RPS-kohdistuksille (Reference Point System), jotka asetetaan kiinteästi kappaleen päihin. Yhdestä leikkauksesta tehdään liikuteltava. Sitä hyödynnetään mittauksissa.

Jokaisessa poikkileikkauksessa peruskaava on sama, kuusitoista pistettä, joiden välille tulee vektorit. RPS-leikkauksissa lopulliset kohdistuspisteet asetetaan vektoreiden avulla omille paikoilleen. Liikuteltavassa poikkileikkauksessa vektoreiden avulla luotavia kohdistuspisteitä taas käytetään mittavektoreiden luomiseen (kuva 11). Mittavektoreita luodaan tässä esimerkkitapauksessa kahdeksan kappaletta.

Tämän jälkeen on edessä vielä yksi vaihe. Määrätään solut taulukkoon, josta katsotaan mittatulokset. Taulukoitavia tuloksia esimerkkitapauksessa on yhteensä yksitoista, esim. ristimitat kulmasta kulmaan, jotka ovat yksi tärkeimmistä mitoista. Juuri ristimitta kertoo onko putki hyvin muodossaan vai ei.



Kuva 11. Esimerkki liikuteltavasta poikkileikkauksesta ja mittavektoreista.



## 5.2 Mittauksen esivalmistelut

Mittauksen esivalmisteluissa tärkeässä osassa on mitattavan kappaleen lämpötila. Kappaleen ja mittavälineiden tulee olla kutakuinkin saman lämpöiset. Tämä on asia, johon mittaus on usein kompastunut. Mitattavan kappaleen tulee olla tasaisella alustalla tukevasti. Tukia ei saa olla liikaa, koska liiat tuet haittaavat mittauksia. Mitattavan kappaleen ympärillä tulisi olla runsaasti tilaa. Noin kolme metriä joka suuntaan olisi hyvä, mutta usein näin ei kuitenkaan ole.

Kun kappale on saatu mittauskuntoon, kootaan mittausjärjestelmä. Skanneri laitetaan heti lämpenemään, vaikka kuvaus tapahtuukin sillä vasta viimeisenä. Skannerin lämpenemisaika on puoli tuntia. Jos tätä aikaa ei odota, mittaustulos ei ole varma.

Mittalaitteet on hyvä kalibroida ennen mittausta ainakin, jos mittapaikka ei ole aina sama. Kalibrointi on oma selkeä, mutta hieman aikaa vievä prosessi, joten mittauspaikka pyritään pitämään lähes samana. Näin kalibrointi suoritetaan parin viikon välein tai muuten tarpeen vaatiessa.

### 5.2.1 Esimerkki huonosta kuvaustilasta

Putkia kuvattaessa ensimmäistä kertaa, työ tuli eteen kiireellä, kuten usein tapahtuu. Brontolla ei ole tällä hetkellä kiinteää tilaa, joka olisi vain mittauskäytössä, joten tila tehdään minne milloinkin mahdutaan. Tällä kertaa oli vuorossa koeajon käytössä oleva solu (kuva 12), jonka lattiassa on kiskot ja myös paikka, johon koko puomiston saa kiinni koeajoa varten. Toisella puolella tilaa oli kaksi metriä, joka on ihan riittävä, mutta toisella puolella paikoitellen vain puoli metriä, joka valitettavasti näkyy mittaustuloksissa. Skannerin kamerat ovat hyvin herkäät. Niihin ei saa koskea tai kalibrointi pitää suorittaa uudelleen. Tässä mittauksessa skannerin jalustan pyörät menivät kerran niin kovaa kiskoihin että kamerat heilahtivat ja kalibrointi piti uusia.

Työaikaa meni hukkaan noin kaksi tuntia. Esteetön kulku on siis hyvin tärkeää, mutta olosuhteisiin ei aina voi vaikuttaa.



Kuva 12. Kuva mittauspaikasta. Erityisesti kannattaa huomioida kiskot lattiassa ja ahtaat tilat.

### 5.2.2 Esimerkki hyvästä kuvaustilasta

Saman projektin seuraavat kaksi putkea päästiin mittaamaan riittävän tilavissa olosuhteissa keskellä kokoonpanohallia (kuva 13). Tilaa oli molemmilla puolilla ruhtinaallisesti. Skannerin liikuttelua ei tarvinnut erityisesti varoa, koska esteitä ei ollut. Tritop-kuvaus sujui mutkitta. Kahden putken kuvaus oli esivalmisteluineen valmis alle viidessä tunnissa, eli hyvässä tilassa kaksi putkea kuvataan samassa ajassa kuin huonossa yksi. Tähän asiaan tuotannon kannattaa kiinnittää huomiota kuvauksia pyydettäessä.

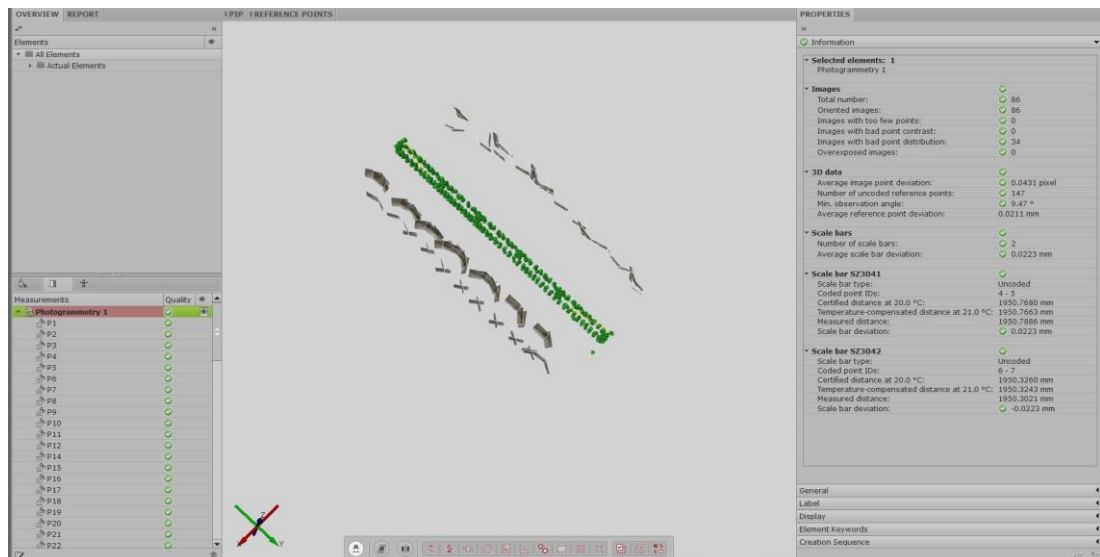




Kuva 13. Hyvä kuvaustila.

### 5.3 Tritop-kuvaus

Tritop-kuvausvaihe aloitetaan liimaamalla mittapisteitä. Kyseessä on valkoiset pyöreät tarrat, jotka skanneri tunnistaa skannausvaiheessa referenssipisteiksi. Pisteiden paikka ei ole ennalta määrätty, riittää, että niitä on riittävästi. Putken päälle laitetaan mittasauvat, yksi molempiin päihin. Kuusi ristikkoa asetetaan putken päälle ja kylkiin tarvittava määrä magneeteilla kiinnitettäviä koordinaatiopisteitä. Atos Professionaliin luodaan uusi projekti työlle, valitaan ohjelmasta "tritop-puoli" ja aletaan ottaa kuvia. Valokuvaus aloitetaan putken keskeltä päältä. Ihan suoraan on käytännössä mahdollista saada kuvaa mutta tavoitteena on ottaa kuva, jossa näkyisi kaksi ristikkoa kokonaisuudessaan. Putki kuvataan molemmilta puolilta päältä sekä molemmilta sivuilta. Mittasauvat pitää saada myös kokonaan kuvaan. Kun kuvaan on saatu kattavasti pisteitä, eli putki näyttää putkelta myös pisteiden muodossa, kuva päivitetään ja tarkistetaan, että projekti on hyväksytty.



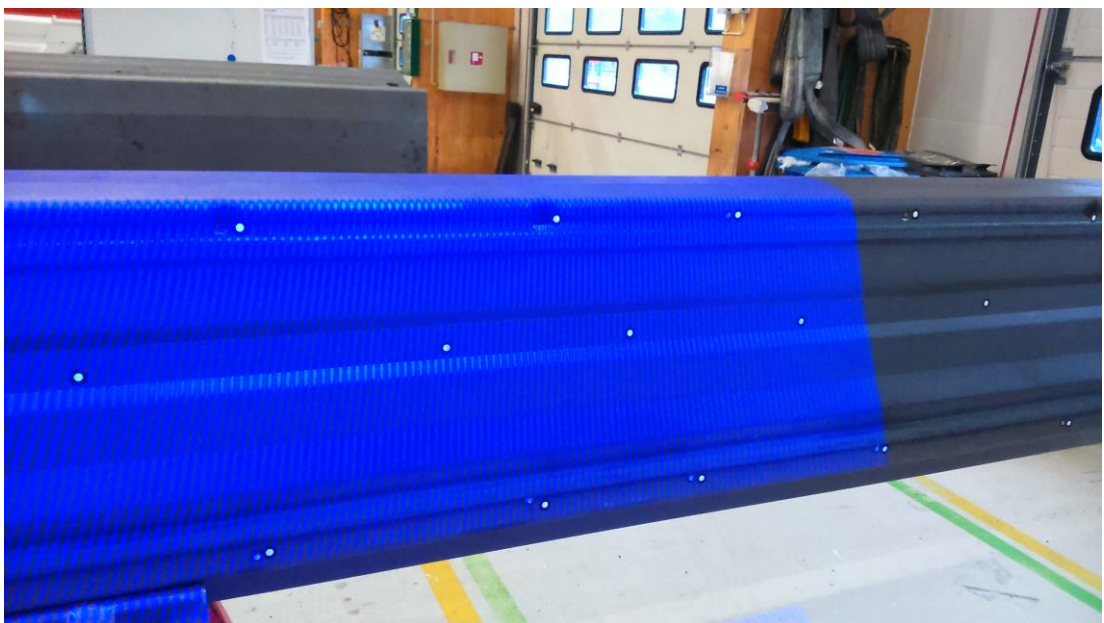
Kuva 14. Tritop kuva.

Kuvassa 14 näkyy päällä kaikki 6 ristikköä ja molemmissa päissä keltaisella mittasauvat. Projekti on myös vihreällä eli hyväksytty ja hyvin onnistunut. Tritop-kuvaus on onnistuessaan hyvin nopea, haasteita tässä vaiheessa tuottaa valaistus ja kuvakulmat. Vaikeaa kuvakulmaa on haastava löytää koska putket pitää kuvata tikkailta. Ahtaissa oloissa korkealle kiipeäminen luo omat ongelmansa, kamera on kuitenkin suhteellisen painava kannatella. Kuvat ylivalottuvat joskus herkästi. Kuvaus olisi hyvä hoitaa ennen kuin aurinko alkaa paistamaan sisälle. Kaikki valotukseen liittyvät asetukset ovat kuitenkin kamerassa säädettävissä, mutta se vie vaan turhaa aikaa. Kuvauksen jälkeen poistetaan ristikot, sauvat ja magneettiset koordinaattipisteet.

#### 5.4 Skannaus Atos Compac Scanilla

Skannaus aloitetaan vaihtamalla tarvittavat liittimet tietokoneeseen ja vaihtamalla Atos Professionaliin projekti skannauksen puolelle. Tässä kohtaa tehdään päätös kalibroinnista. Skannaus aloitetaan putken päästä vaikka skanneri tunnistaa referenssipisteet mistä kohtaa putkea tahansa. Putki skannataan kahdesti molemmilta puolilta, alapuolelta ja yläpuolelta. Skannaus on tritoppaamista huomattavasti hitaampaa. Esteettömässä liikehinnässä tämäkin vaihe yleensä hoituu vajaassa parissa tunnissa

pienempien putkien kanssa. Muita haasteita skannauksessa tuo valotus. Liika valo aiheuttaa skannattuun pintaan reiän, joten valotusta pitää säädellä. Maalatussa, jo valmiissa jaksossa valo tuottaa enemmän heijastuksia, jolloin oikean säädön löytäminen on vielä haasteellisempaa. Säättöä kuitenkin löytyy. Suoralle auringonvalolle edes ohjelman säätö ei mahda mitään. Silloin tarvitaan avuksi esimerkiksi pahvilaatikko ja kaveri, joka koettaa peittää isoimmat säteet skannauksen ajaksi (kuva 15). Skannaus pitää hoitaa tarkasti jotta tarvittavat mitat saadaan. Reikäisestä kappaleesta mittoja ei saa.



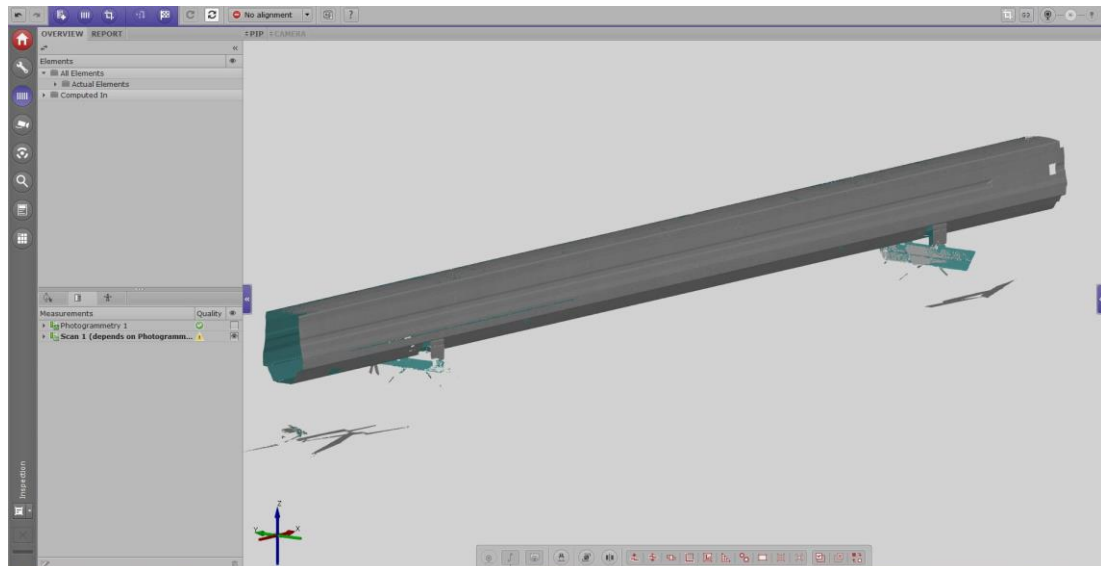
Kuva 15. Esimerkki skannausvaiheesta.

Kun kappale on riittävästi skannattu, kerätään tavarat kasaan ja poistetaan tarrat kappaleesta. Tarrojen poisto on tärkeää yleensä vasta maalatuissa kappaleissa. Mustaa rautaa olevat putket menevät vielä hiekkapuhallukseen, jolloin tarrat lähtevät pois.

### 5.5 Mittaustulokset Atos Professionalilla

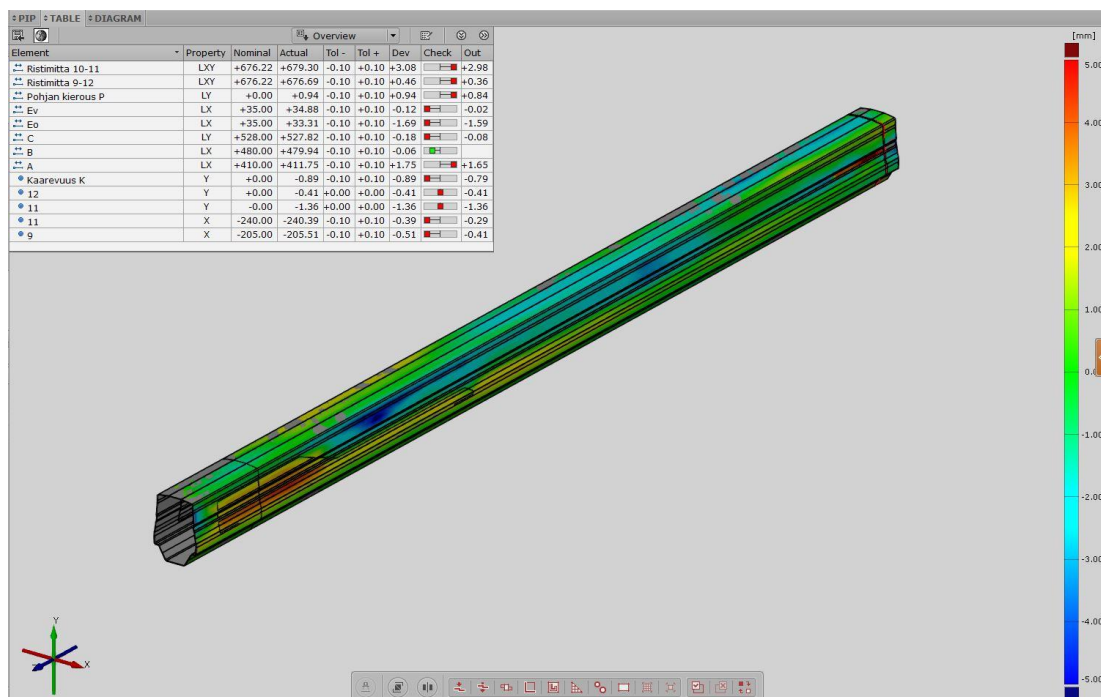
Kun projekti on saatu kuvattua ja skannattua, pitää se siivota ohjelmaa apuna käyttäen. Ylimääräiset skannauksessa tulleet osat poistetaan (kuva 16). Tämän jälkeen projektia aletaan kohdistamaan aiemmin luotuun

mittapohjaan. Ensin on tehtävä prealignment, eli ns. esikohdistus, joka on tehtävä aina ennen lopullista kohdistusta. Ohjelmassa on monta eri kohdistusvaihtoehtoa, mutta tässä käytetään RPS-kohdistusta, koska pohja on luotu sen perusteella. Yleensä mittapohja ja projekti eivät mene aivan suoraan paikoilleen, vaan vaativat vielä pientä hiomista. Tämä on ihan normaalia. Kun kohdistus on saatu tehtyä, siirrellään liikuteltavaa poikkileikkausta putkea pitkin ja otetaan tarvittavat mitat. Esimerkkitapauksessa mitat otetaan metrin välein joka mitasta ja lisätään taulukkoon. Kun putki/jakso on mitattu kolmasti, saadaan vertailu muodonmuutoksista.



Kuva 16. Skannattu putki.

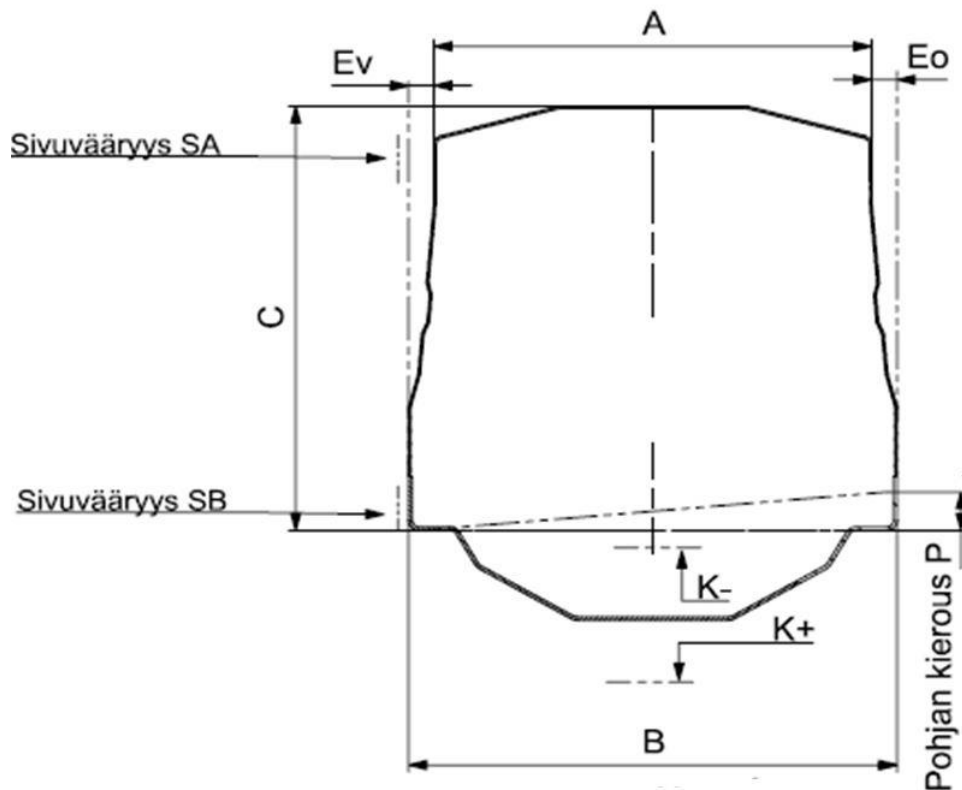
Projektista mittauspohjalla (kuva 17) saadaan myös värivertailu, josta näemme heti, missä kohtaa putkea ovat suurimmat muodonmuutokset.



Kuva 17. Projekti mittauspohjalla.

## 6 MITTAUSTULOKSET

Koko varsijakson osalta tulokset tässä projektissa olivat odotettuja. Edelliseen koko varsiston mittaukseen erona oli plasmahitsauksen aikana käytetty apukelkka, joka kulki tukemassa putkea hitsauksen aikana ja tämä näkyi tuloksissa. Kelkkaa käytettiin vain kahdessa isommassa jaksossa, pienemmät plasmahitsattiin vanhan kaavan mukaan, joten ne noudattivat tuloksissakin pitkälti vanhaa kaavaa. Jaksot joiden tuloksia käydään tarkemmin läpi, on nimetty varsijakso 6.0 joka on pienempi ja varsijakso 5.0 joka on isompi. Suunnittelun kanssa on sovittu tietyt toleranssit joiden sisällä mittaustulosten pitää olla. Jos nämä toleranssit ylittyvät, pitää asiaan perehtyä tarkemmin. Varsijakson 6.0 kanssa kävi näin. Mittaustuloksissa tarkkaillaan sivuvääryyksiä SA ja SB (kuva 18) ja ristimittoja. Mittaustulokset on otettu metrin välein. Kun varsijakso on vielä putken muodossa, mittaustuloksia saadaan yhteensä yksitoista ja jakson muodossa kymmenen. Putkea lyhennetään hieman kun siihen hitsataan muut osat paikalleen. Ero johtuu tästä. Tulokset analysoidaan Excel-taulukossa, jossa on jokainen mittausvaihe omalla värillään ja CADin arvo jota pitkin viivan tulisi kulkea. Kuvassa 19 on esitetty Exceliin syötettäviä arvoja, joista liitteissä 1 ja 2 olevat taulukot muodostuvat. Jaksot oli tarkoitus mitata alunperin myös maalattuna, tämä vaihe katsottiin kuitenkin tarpeettomaksi tässä kohtaa.



Kuva 18. Selitykset mitoista. Ristimitat otettu kulmasta kulmaan.

HEFTATTU	1000(1030)			2000(2200)			3000		
	Nom	Act	Dev	Nom	Act	Dev	Nom	Act	Dev
Ristimita 10-11 [mm]	676,22	676,35	0,13	676,22	675,85	-0,37	676,22	675,38	-0,85
Ristimita 09-12[mm]	676,22	678,93	2,71	676,22	679,45	3,23	676,22	680,4	4,18
Ev [mm]	35	33,36	-1,64	35	33,36	-1,64	35	32,77	-2,23
Eo [mm]	35	34,94	-0,06	35	35,9	0,9	35	36,19	1,19
C [mm]	528	527,59	-0,41	528	530,02	2,02	528	529,82	1,82
B [mm]	480	479,36	-0,64	480	479,91	-0,09	480	479,96	-0,04
A [mm]	410	411,05	1,05	410	410,65	0,65	410	411	1
Kaarevuus K [mm]	0	-0,9	-0,9	0	-1,06	-1,06	0	-1,43	-1,43
12	0	-1,22		0	-1,22		0	-1,9	
11	0	-0,58		0	-0,89		0	-0,96	
Sivuvääryys SB [mm]	-240	-239,25	0,75	-240	-240,14	-0,14	-240	-240,34	-0,34
Sivuvääryys SA [mm]	-205	-205,89	-0,89	-205	-206,79	-1,79	-205	-207,57	-2,57
Pohjan kierous P [mm]	0	-0,64		0	-0,33		0	-0,94	
Pohjan kierous P pos. arvo: Tyvestä katsottuna oikea puoli (alaliukupinta) korkeammalla									
Kaarevuus K neg. arvo: skannattu alempana kuin CAD									
Sivuvääryys SA ja SB pos. arvo: skannattu pinta oikeammalla kuin CAD									

Kuva 19. Esimerkki Exceliin syötettävistä mitoista.

## 6.1 Varsijakso 5.0

Varsijakso 5.0 noudatti heftausvaiheen jälkeen pitkälti samaa kaavaa kuin edellinen projekti. Sivuvääryydet olivat melko suuria ja ristimitatkin ”karkasivat” jommasta kummasta päästä. Muutoksia saimme plasmahitsauksen jälkeen. Edellisen projektin jälkeen hankittu kelkka



edesauttoi ristimittojen huomattavaa parantumista. Sivuvääryys SA ja SB (liite 1) on myös parantunut. Putkien päissä oli plasmahitsauksen aikana myös aputunkit (kuva 20) pitämässä putken muotoa. Plasmahitsauksen jälkeen ristimitat alkoivat pysyä vakiona ja muutoksia ei enää tapahtunut, sivuvääryys pysyi samana. Liitteessä 2 edellisen työnumeron mittaukset vertailuksi. Liitteessä 3 ristimittojen poikkeamat. Liite 4 edellisestä työstä.



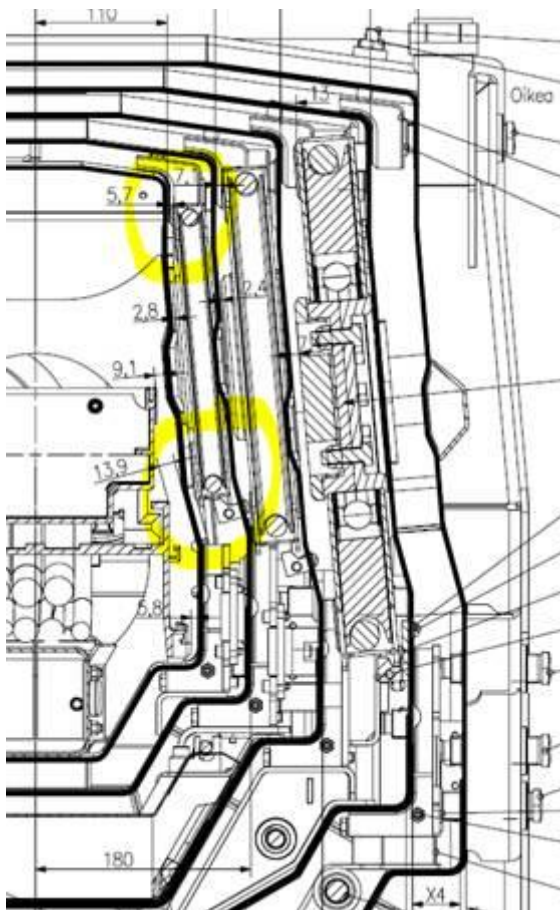
Kuva 20. Esimerkkikuva aputunkista joita käytettiin plasmahitsauksen aikana.

## 6.2 Varsijakso 6.0

Varsijakso 6.0 tuotti tulosten valossa murhetta heti ensimmäisen mittauksen jälkeen. Sivuvääryys SA ja SB (liite 5) menivät yli sovitun toleranssin. Lisäksi varsijakso 7.0, jonka tarkoituksena on tulla varsijakson 6.0 sisälle, oli sivuväärä eri suuntaan. Tämä tilanne aiheutti palaverin suunnittelun kanssa. Suunnittelu kävi läpi ovatko sivuvääryydet liikaa, vaikka putkien sisällä ei ole



runsaasti tilaa. Tässä tapauksessa tila riitti (kuva 21). Suunnittelu antoi luvan jatkaa. Plasmahitsauksen aikana huomioitiin hitsausjärjestys, jolla saatiin sivuvääryyttä paremmaksi. Sivuvääryyttä ja muodonmuutoksia pyritään hallitsemaan myös teetetyillä sabluunalevyillä, jotka hitsataan putken sisälle jo heftausvaiheessa ja poistetaan putken valmistuessa (kuva 22). Levyistä on apua putken päissä, mutta keskelle putkea näitä ei saa, koska poistaminen keskeltä kapeaa putkea on mahdottomuus putken ollessa valmis. Osien hitsaamisen jälkeen ristimitat paranivat. Osat hitsataan jakson päihin ja silti jakso on keskivaiheilta hakeutunut oikeaan mittaan. Tämä kertoisi siitä, että tekijä on tehnyt jotain parantaakseen putkea. Liitteessä 6 edellisen työnumeron mittaukset vertailuksi. Liitteessä 7 ristimittojen poikkeamat. Liite 8 edellisestä työstä.



Kuva 21. Suunnittelun kanssa käyty keskustelu tilasta putkien välissä.



Kuva 22. Apuna käytettävä sabluunalevy putken sisällä.

### 6.3 Johtopäätöksiä

Tutkimustulokset osoittavat useiden mittausten ja vertailujen jälkeen, että putkissa tapahtuu muutosta monellakin eri tapaa. Muutokset riippuvat tekijästä, hitsausjärjestyksestä ja hiekkapuhalluksen raekoosta. Moni muukin putken käsittely tai kuljetus voi vaikuttaa muodonmuutoksiin. Putki voi näyttää päältä hyvältä, mutta mittaus voi paljastaa jotain ikävää.

Tuloksia läpikäydessä tulee huomioida monta eri asiaa. Yksittäisen putken muodonmuutokset, sen soveltuvuus vastapeluriin, sisälle tulevat liukupalat, vaijerit ym. Pelkän mittapohjan teko vaatii palaveria, niin suunnittelun kuin laitteen kasaajien kanssa. Työssä on tärkeää huomioida, että tulokset olisi järkeviä ja oikeasti hyödynnettävissä tuotannossa.

## 7 YHTEENVETO

Työnä mittaaminen laadunvalvonnan näkökulmasta on mielenkiintoista ja haastavaa. Työssä pitää ottaa huomioon paljon eri näkökulmia ja tämäkin projekti on kehittänyt omaa työtapaa ja menetelmiä. Jatkoa ajatellen vastaavissa projekteissa voisi ajatella jättävänsä viimeisen mittausvaiheen kokonaan tekemättä. Varsijaksojen työvaiheissa isoimmat asiat, joissa voi vaikuttaa, painottuvat alkupäähän, eli hitsaukseen ja hitsausmenetelmiin. Mielestäni myös huomiota kannattaisi kiinnittää putkien siirtelyyn. Olen sitä mieltä että kymmenen metrin putkessa on iso ero vääryyksiin, tehdäänkö nostot metalliketjulla nostaen keskeltä putkea vai kangasliinoilla putken molemmista päistä. Tätä voisikin joskus mitata tarkemmin jos tuotanto sen sallii.

Tärkeä huomio oman työskentelyn helpottamiseksi on selvittää löytyykö skannerille jalustaa, jolla skannerin saa käännetty akselinsa ympäri. Ahtaissa tiloissa on muutenkin haastetta ja haastetta tuo lisää kääntää skanneri ylösalaisin, koska se on painava ja todella arvokas.

Lisäksi selvitykseen on jo laitettu, miten tarrapisteet voisi korvata magneettisilla vastaavilla. Tarroilla kiinnitettävät ovat ikäviä maalattavissa putkissa koska ne pitää nyppiä irti. Vaarana on vahingoittaa maalia. Lisäksi tarroja liimataan noin sataviisikymmentä per putki. Tämä tulee pitkässä juoksussa myös kalliiksi.

Mittaaminen on tärkeää. Se on varma, koska vieläköän tämän laitetyypin putkissa ei ole löydetty täysin oikeaa työmenetelmää.

## LÄHTEET

3DScanco: Technical information. 2015. [Viitattu 8.3.2015]. Saatavilla: <http://www.3dscanco.com>

Bronto Skylift Oy. 2015 Yrityksen viralliset www-sivut. [Viitattu 25.2.2015]. Saatavilla: <http://www.bronto.fi>

Geocache Description. 2015. Verkkodokumentti. Geocaching. [Viitattu 8.3.2015]. Saatavilla: [http://www.geocaching.com/geocache/GC3XT6K\\_kolmiomittaus?guid=5f3b2a8c-197f-48db-b694-a7bff7f37317](http://www.geocaching.com/geocache/GC3XT6K_kolmiomittaus?guid=5f3b2a8c-197f-48db-b694-a7bff7f37317)

GOM mbH. 2015 Yrityksen viralliset www-sivut. [Viitattu 3.3.2015]. Saatavilla: <http://www.gom.com>

Harding, K. 2008. Handbook of Optical Dimensional Metrology. CRC Press. [Viitattu 3.3.2015]. Saatavilla: <http://www.google.fi/books>

Karpinsky, N. Zhang, S. 2010. High-resolution, real time 3D imaging with fringe analysis. [Viitattu 20.3.2015]. Saatavilla: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11554-010-0167-4#page-1>

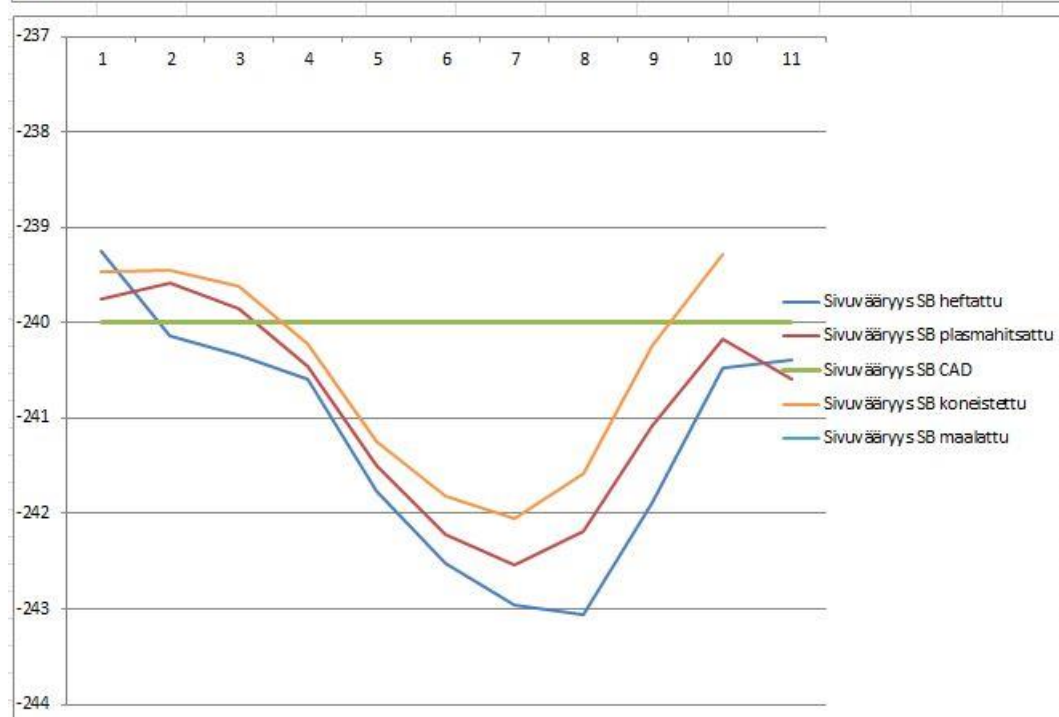
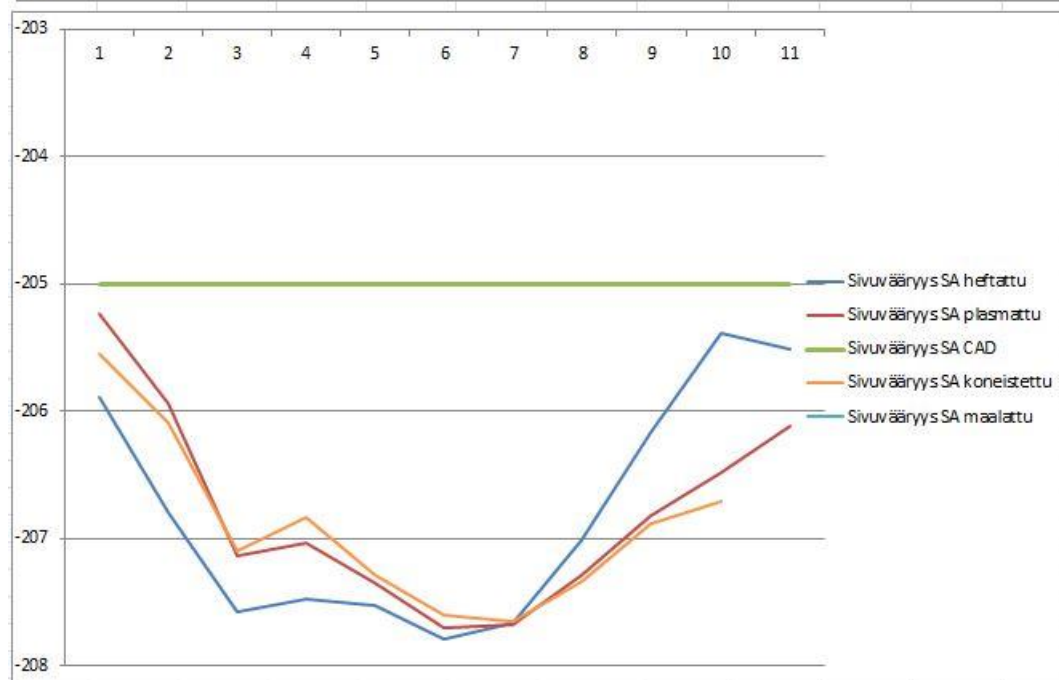
Leino, M. 2014. Teknologiatiedolla tuottavuutta: Ammattikorkeakoulut kansainvälisen teknologiatiedon tulkkeina. Satakunnan ammattikorkeakoulu. [Viitattu 19.3.2015]. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-633-134-1>

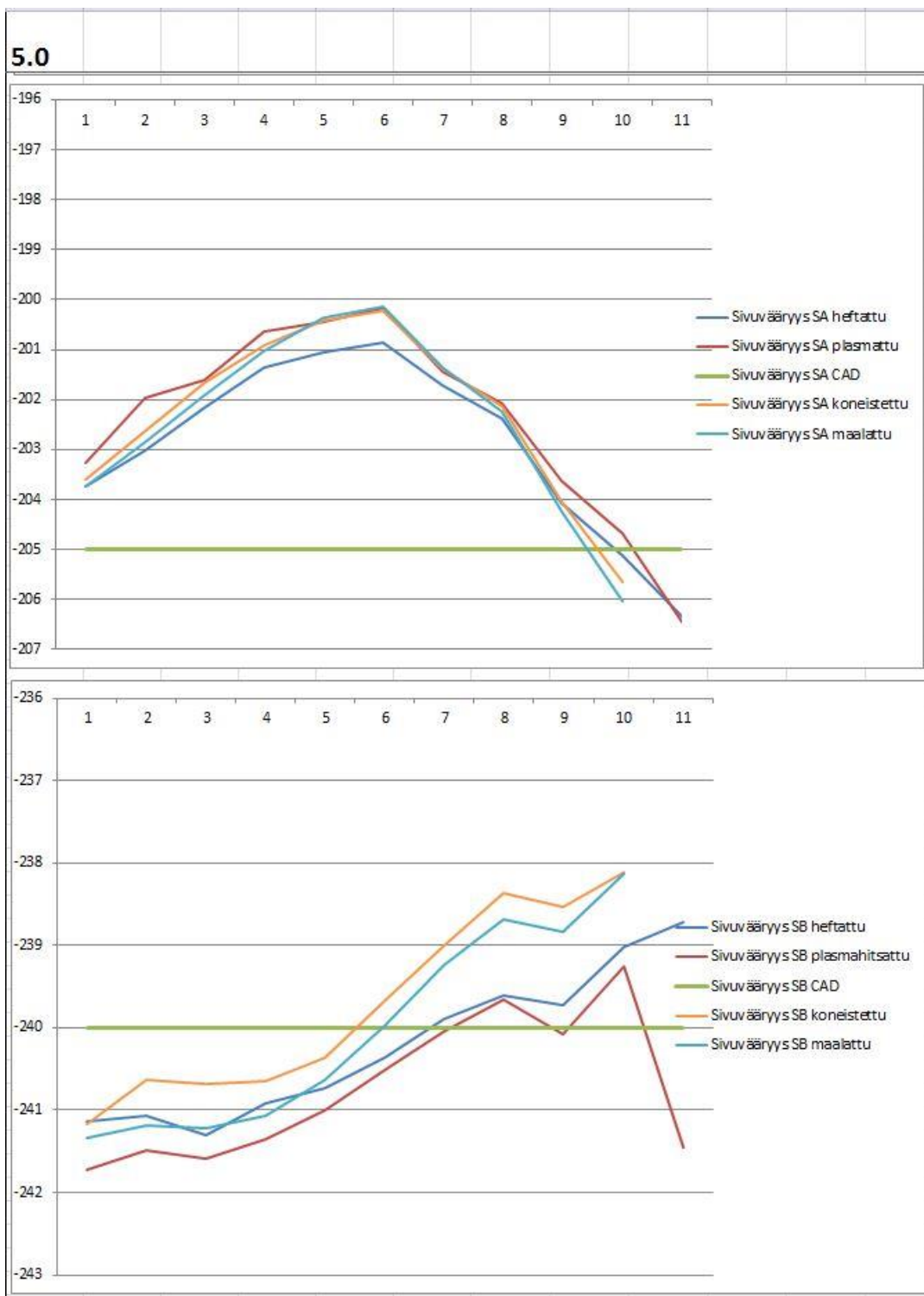
Santaluoto, O. 2012. 3D-Skannaukseen perehtyminen. AMK-opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. [Viitattu 19.3.2015]. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2012060111232>

The Basics of Photogrammetry. 2015. Verkkodokumentti. Geodetic Systems. [Viitattu 8.3.2015]. Saatavilla: <http://www.geodetic.com/v-stars/what-is-photogrammetry.aspx>

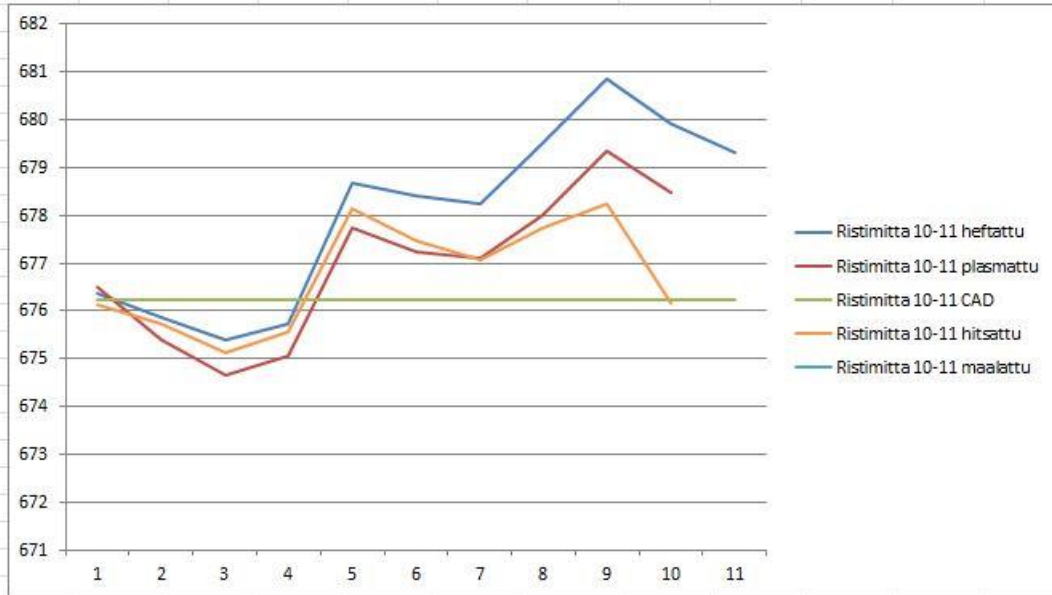
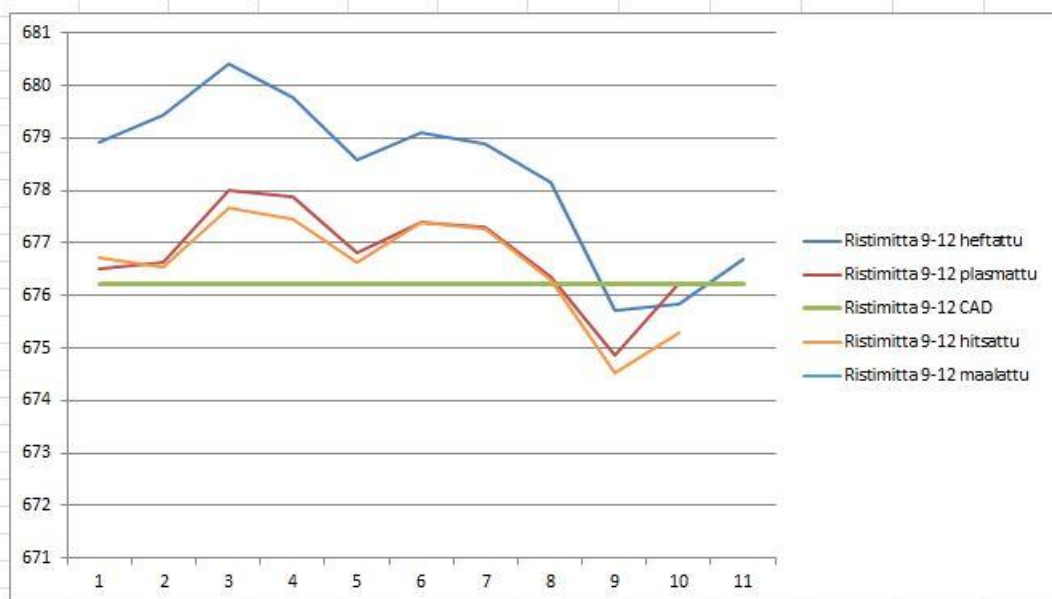
Wikipedia, vapaa tietosanakirja: Kolmiomittaus. Verkkodokumentti. [Viitattu 20.3.2015]. Saatavilla: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Kolmiomittaus>

# 5.0

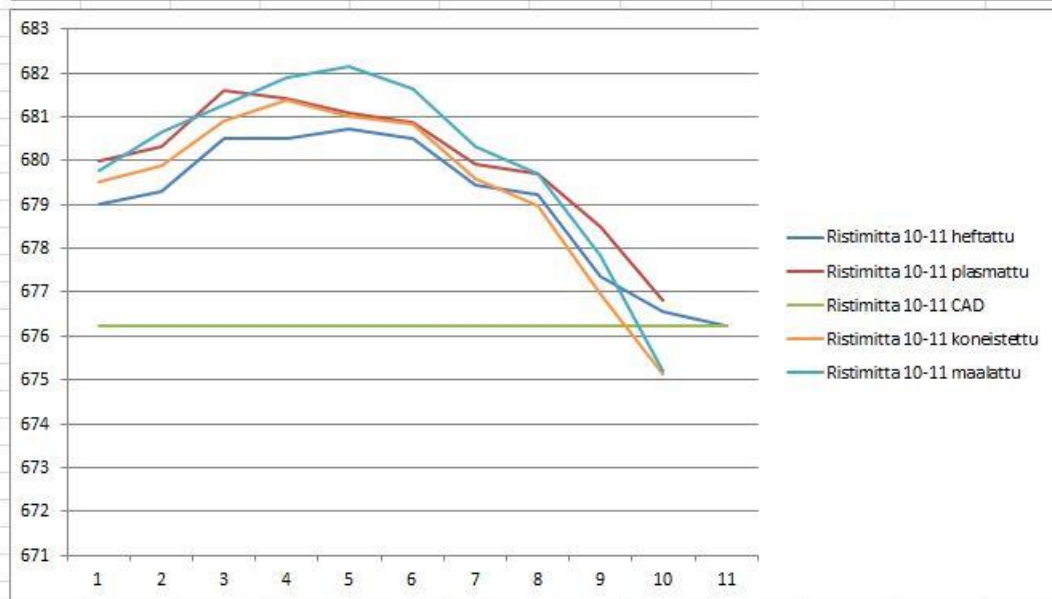
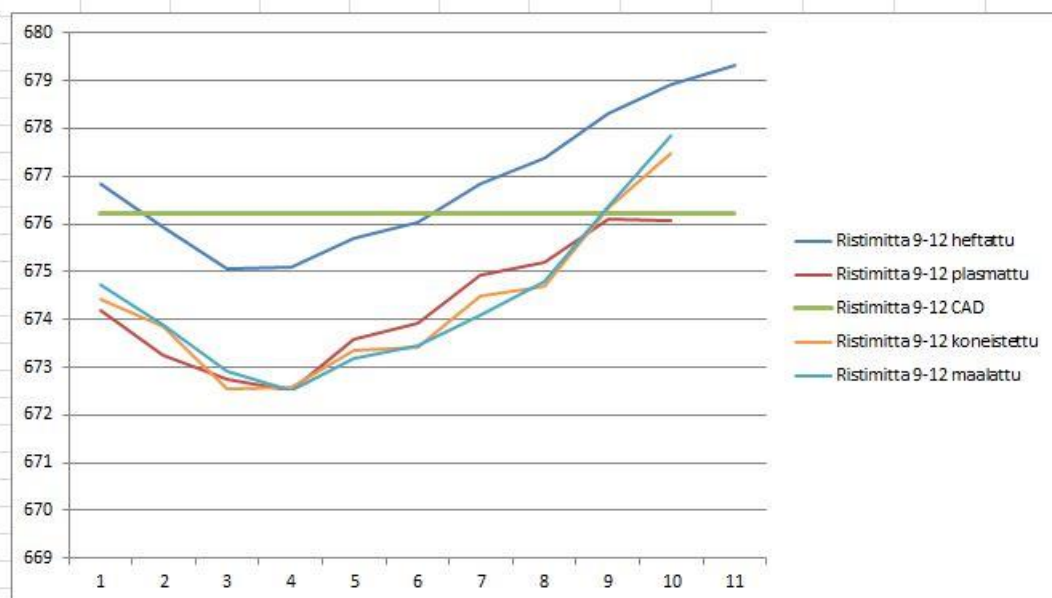




## 5.0

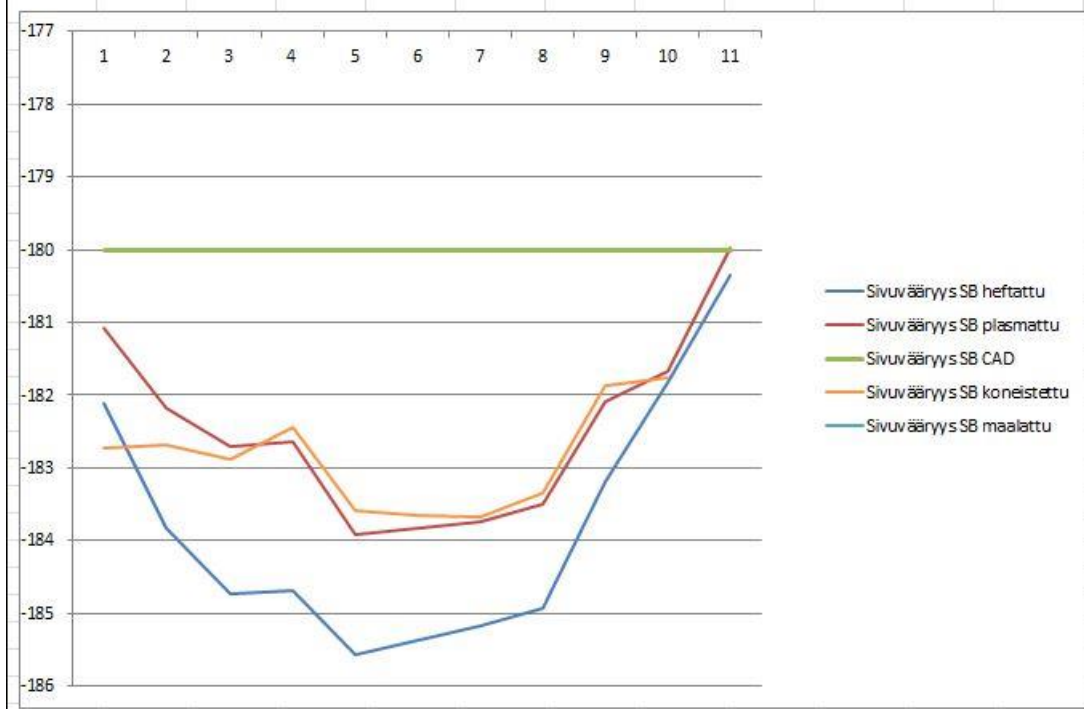
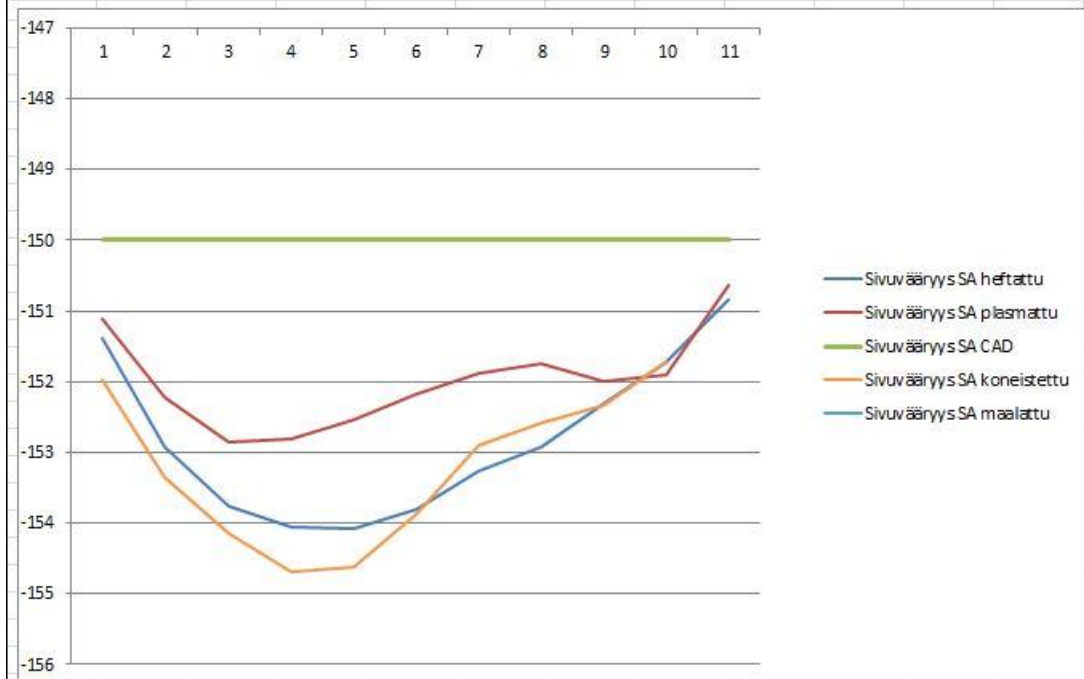


## 5.0

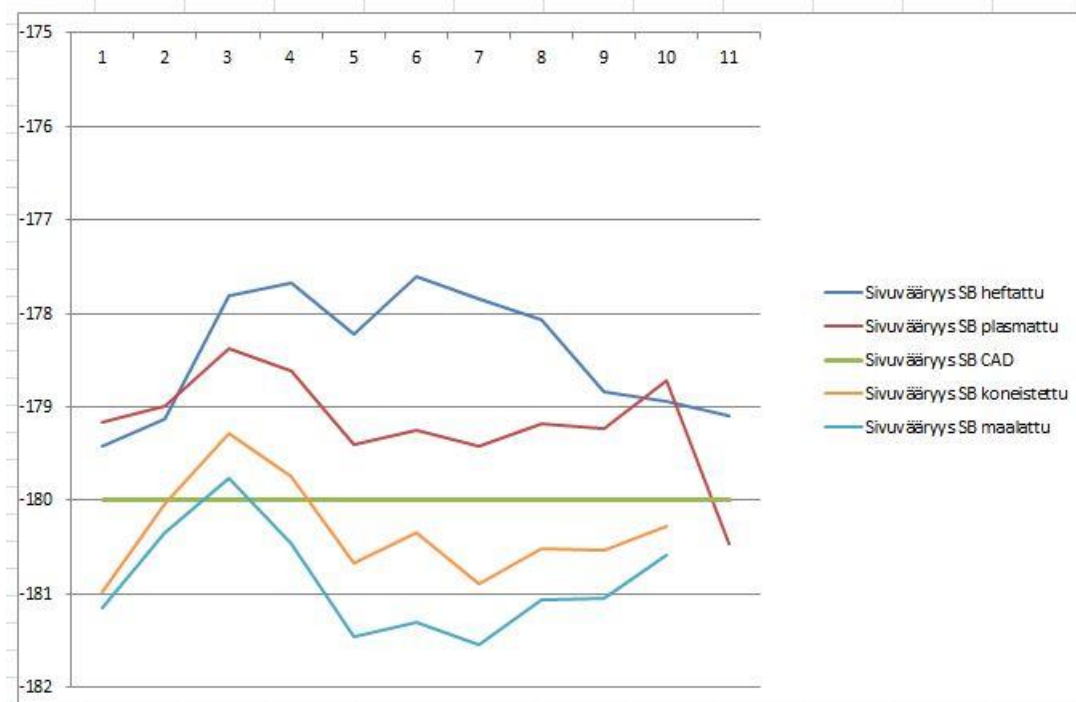
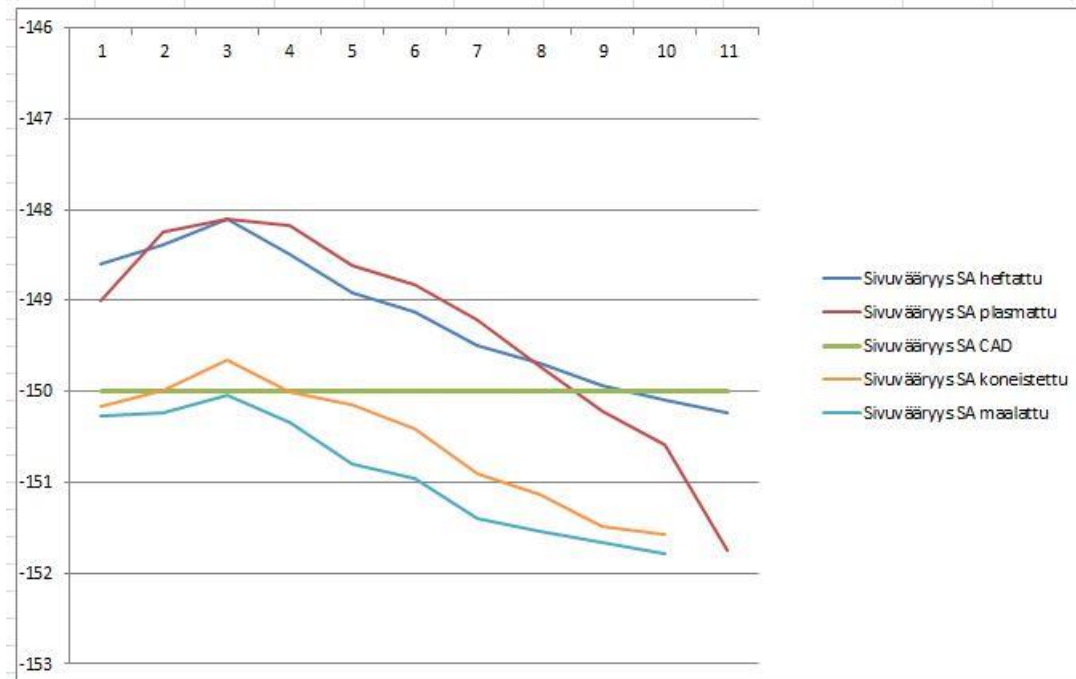




6.0



## 6.0



## 6.0

